

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Diagnostika betonových konstrukcí
Diagnostics of concrete constructions

Student:

Petr Mynarčík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Žídek

Ostrava 2010

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Anotace bakalářské práce

Tato bakalářská práce popisuje téma diagnostiky betonových konstrukcí. V teoretické části jsou popsány nejčastěji se vyskytující poruchy betonu a popis vybraných diagnostických metod používaných na betonové konstrukce. Experimentální část této práce je zaměřena na ověřování vlastností drátkobetonu na vzorcích odebraných z reálné konstrukce. Vzhledem k vysokému počtu zkušebních vzorků bylo možno provést statistické hodnocení jednotlivých dílčích souborů vzorků.

Výsledky této bakalářské práce podávají informace o statistickém hodnocení charakteristických pevností betonu v tlaku a vlivu drátkové výztuže na pevnostní charakteristiky betonu.

This baccalaureate work describes theme of diagnostics of concrete constructions. Teoretical part describes most frequent defects of concrete and describes chosen diagnostics methods used on concrete constructions. Experimental part of this baccalaureate work is aimed on verifying characteristics of steelfibre concrete on real construction samples. In reference to numerous samples a statistic evaluation of partial sets of samples could be made..

The results of this baccalaureate work provides informations about statistic evalaution of concrete's characteristic compressive strenght and about influence of steel fibre quantity on concrete strenght characteristics..

Obsah bakalářské práce :

Seznam použitého značení.....	7
1. Úvod.....	8
2. Poruchy betonových konstrukcí.....	9
2.1 Nejčastěji se vyskytující poruchy betonových konstrukcí.....	10
2.1.1 Trhlíny.....	10
2.1.2 Vápenné výkvěty a výluhy.....	12
2.1.3 Karbonatace betonu.....	13
2.1.4 Koroze výztuže betonu.....	14
2.1.5 Šterková hnízda a šterkové pruhy.....	15
2.1.6 Velikost vzduchových pórů.....	16
2.1.7 Chemická koroze betonu.....	17
2.1.8 Opatření vzniklé působením mrazu.....	19
2.1.9 Poškození vzniklé projevem lidské činnosti a provozem konstrukce.....	20
2.1.10 Poškození vzniklé havárií.....	20
3. Diagnostika betonových konstrukcí.....	21
3.1 Postup diagnostiky betonových konstrukcí.....	21
3.2 Rozdělení diagnostických metod.....	22
3.2.1 Nedestruktivní metody.....	22
3.2.2 Semidestruktivní metody.....	23
3.2.3 Destruktivní metody.....	23
3.3 Přehled vybraných diagnostických metod.....	24
3.3.1 Akustická trasovací metoda.....	24
3.3.2 Vyšetřování trhlín.....	24
3.3.3 Stanovení vlhkosti betonu.....	25
3.3.4 Vyšetřování hloubky karbonatace.....	25
3.3.5 Pórovitost a propustnost betonu.....	29
3.3.6 Tvrdoměrné zkoušení betonu – metoda Schmidtova tvrdoměru.....	29
3.3.7 Jádrové vývrty.....	31
3.3.8 Vyšetřování polohy výztuže.....	32
3.3.9 Zátěžové zkoušky.....	32

4. Experimentální část – Diagnostika parkovací plochy z drátkobetonu.....	34
4.1 Vláknobeton – charakteristika materiálu.....	34
4.2 Dávkování drátků v betonové směsi.....	34
4.2.1 Obvyklé dávkování drátků v betonové směsi.....	34
4.2.2 Kontrola dávkování drátků v betonové směsi.....	35
4.3 Diagnostika drátkobetonové konstrukce parkovací plochy.....	36
4.3.1 Odběr a úprava vzorků.....	36
4.3.2 Stanovení pevnosti betonu v tlaku.....	37
4.3.3 Vyhodnocení statistického hodnocení dílčích souborů vzorků.....	42
4.3.4 Magnetická separace rozptýlené výztuže drátkobetonu.....	43
4.3.5 Vyhodnocení vlivu dávkování drátkové výztuže na pevnost betonu.....	46
5. Závěr.....	47
Seznam použité literatury.....	49
Seznam obrázků.....	50
Seznam tabulek	51
Seznam grafů.....	52
Seznam příloh.....	53

Seznam použitého značení:

A	$[\text{mm}^2]$	tlačená plocha zkoušeného vzorku
F	$[\text{N}]$	maximální síla, kterou působí lis na vzorek
$f_{\text{ck, is, cube}}$	$[\text{MPa}]$	charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci vyjádřená jako ekvivalentní pevnost krychle 150 mm
$f_{\text{ck, is, cyl}}$	$[\text{MPa}]$	charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci vyjádřená jako ekvivalentní pevnost válce 150 mm x 300 mm
K_n		součinitel pro stanovení 5% kvantilu charakteristické pevnosti v tlaku
m	$[\text{kg}]$	hmotnost zkušební vzorku
m_x	$[\text{MPa}]$	průměrná hodnota pevností v tlaku
pH		kyselost (anglicky <i>potencial of hydrogen</i>)
$R_{\text{c, cu}}$	$[\text{MPa}]$	krychelná pevnost v tlaku
$R_{\text{c, cy}}$	$[\text{MPa}]$	válcová pevnost v tlaku
s_x		směrodatná odchylka
V	$[\text{m}^3]$	objem zkušební vzorku
V_x		variační součinitel
X_k	$[\text{MPa}]$	charakteristická krychelná pevnost v tlaku
X_{30}	$[\text{MPa}]$	charakteristická pevnost v tlaku srovnávacího statistického souboru obsahujícího 30 zkušebních vzorků
λ		štíhlostní součinitel
ρ	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	objemová hmotnost
$\chi_{\text{c, cy}}$		opravný součinitel krychelné pevnosti v tlaku
$\chi_{\text{cy, cu}}$		převodní součinitel

1.Úvod

Beton je umělý kámen tvořený kamenivem, pojivem, vodou, přísadami a příměsemi a vzduchovými póry. První zmínky o použití předchůdců betonové směsi sahají až do období starověku, kdy byly pro mohutné stavby z kamenných bloků použity pojivové směsi z vápenné malty a sopečného popelu. Zlomový průlom ve vývoji betonu nastává až v 19. století, kdy byl ve Velké Británii objeven cement. Za uplynulé století procházel beton rychlým vývojem a byl stále častěji uplatňován při realizaci stavebních konstrukcí. V současnosti je to nejčastěji používaný stavební materiál. V posledních 15 letech se začíná také vyvíjet a stále více užívat drátkobeton – speciální druh betonu obsahující rozptýlenou ocelovou výztuž.

Současně s betonem se začaly vyvíjet i diagnostické metody betonových konstrukcí. Ačkoliv je beton materiálem vyznačujícím se dobrými pevnostními a mechanickými vlastnostmi, může u něj vlivem působení vnějšího prostředí dojít k degradaci, vedoucí v kritickém stavu až k destrukci betonové konstrukce či prvku. Diagnostické metody podávají důležité informace, na jejichž základě můžeme degradaci včas odhalit, zjistit její rozsah a případně navrhnout vhodné sanační opatření.

Cílem této bakalářské práce je představit nejčastější poruchy vyskytující se na betonových konstrukcích a popsat vybrané diagnostické metody. Experimentální část této práce je zaměřena na ověřování vlastností na vzorcích drátkobetonu odebraných z konstrukce.

2. Poruchy betonových konstrukcí

Poruchy betonových a železobetonových konstrukcí vznikají působením nepříznivých vlivů, jejichž původ a výskyt je sledovatelný od počátečního návrhu, přes realizaci až po následné užívání a údržbu konstrukce.

Rozdělení nepříznivých vlivů působících na betonovou konstrukci:

Vlivy vznikající při návrhu konstrukce [5]:

- Nevhodný návrh betonové směsi vzhledem k agresivitě prostředí
- Chybný návrh krycí vrstvy výztuže
- Chybný statický výpočet konstrukce
- Nevhodné umístění stavby
- Nedostatečné zkušenosti projektanta
- Neúplné podklady pro návrh konstrukce

Vlivy vznikající při realizaci konstrukce [3]:

- Nedodržení, případně zásah do receptury betonu
- Porušení zásad pro transport betonu
- Porušení zásad při stavbě, ošetřování a odstraňování bednění
- Chybné rozmístění a uložení výztuže
- Neodbornost pracovníků provádějících betonářské práce
- Chybné ukládání a hutnění betonové směsi
- Atmosférické vlivy v průběhu zrání betonu
- Nevhodné ošetřování betonu v průběhu zrání betonu
- Nekvalitní provedení povrchových ochranných vrstev betonu

Vlivy vznikající při užívání konstrukce:

- Stárnutí a únava materiálu
- Opotřebením konstrukce provozem
- Atmosférické vlivy
- Změny teploty a vlhkosti
- Zmrazovací cykly
- Statické a dynamické přetížení
- Chemické a biologické vlivy
- Absence prohlídek a údržby konstrukce

Vlivy vzniklé při údržbě konstrukce:

- Zanedbání údržby
- Chyby vzniklé při diagnostice konstrukce
- Nevhodný návrh sanace konstrukce
- Neodbornost pracovníků provádějících sanační práce
- Nedodržení pracovních postupů pro užití sanačních prostředků deklarovaných výrobcem

2.1 Nejčastěji se vyskytující poruchy betonových konstrukcí

2.1.1 Trhliny

Trhliny jsou nejčastější poruchou na betonové konstrukci. Z hlediska příčiny vzniku se rozdělují na trhliny vzniklé deformačními účinky objemových změn a trhliny vzniklé silovými účinky zatížení. Vznik trhlin naznačuje možné narušení konstrukce vedoucí ke ztrátě nebo omezení její spolehlivosti.

Dále se trhliny rozdělují, dle jejich dynamické aktivity, na trhliny pasivní a trhliny aktivní. Šířka pasivních trhlin je od vzniku konstantní a je již dále v čase neměnná. Šířka aktivních trhlin se může periodicky měnit nebo postupně rozměrově narůstat.

Trhliny vzniklé deformačními účinky objemových změn:

Trhliny smršťovací

Trhliny vznikají v důsledku odpařování části záměsové vody, která se nespotřebuje při hydrataci cementu. Množství odpařené vody závisí na aktuálním okolním prostředí. Proces vzniku trhlin začíná krátce po uložení betonové vrstvy. Ztrátou vody dochází k objemovým změnám, které vyvolávají v okrajových vrstvách vnitřní tahová napětí. Překročí-li velikost napětí aktuální pevnost v tahu cementového tmele, vzniknou smršťovací trhliny.

Trhliny vzniklé působením mrazu

Trhliny na konstrukci mohou vznikat také spolupůsobením vody a nízkých teplot. Při poklesu teploty pod bod mrazu voda mění své skupenství, které je doprovázeno zvětšením objemu. Vzniká tak rozpínání, v jehož důsledku se mohou objevit trhliny. Podrobněji je tato problematika popsána v části 2.1.8.

Trhliny způsobené korozí výztuže

Při korozi výztuže narůstají na jejím povrchu produkty, které mohou až třikrát navýšit svůj původní objem. Změna objemu vyvolává expanzivní síly, které působí na krycí betonovou vrstvu. Důsledkem rozpínání dochází k porušení krycí vrstvy, v konečném důsledku může dojít až k jejímu úplnému oddělení a následnému obnažení výztuže.

Trhliny vzniklé silovými účinky zatížení:

Ohybové trhliny

Trhliny vznikají především v důsledku ohybového namáhání. Vznikají v okolí hlavní nosné výztuže, která má účel přenášení tahových a smykových účinků zatížení. Směr jejich průběhu je zpravidla kolmo k ose prutu hlavní nosné výztuže. Nejčastěji tento typ trhlin pozorujeme u vodorovných prvků konstrukce, kterými jsou např. průvlaky, překlady, stropní desky.

Smykové trhliny

Trhliny vznikají v důsledku působení posouvajících sil a kroutících momentů. Charakteristickým znakem smykových trhlin je jejich šikmý směr průběhu k ose prutu hlavní nosné výztuže. Úhel sklonu trhlín je přibližně 45° . Nejčastějším místem výskytu jsou napojení vodorovných a svislých prvků konstrukce.

Tlakové trhliny

Při působení tlakového zatížení s větší excentricitou na svislé prvky mohou vznikat vodorovné trhliny, které se postupem času prodlužují a jsou největší v místech maximálních ohybových momentů [1].

2.1.2 Vápenné výkvěty a výluhy

Vápenné výkvěty a výluhy na povrchu betonové konstrukce jsou tvořeny uhličitánem vápenatým (CaCO_3), který je výsledným produktem reakce oxidu uhličitého (CO_2) a hydroxidu vápenatého (Ca(OH)_2). Reakce probíhá ve vlhkém prostředí, kdy z oxidu vápenatého (CaO), který je obsažen v cementu, vzniká hydratací hydroxid vápenatý. Ten je pak vlhkostí transportován na povrch konstrukce, kdy začíná reagovat s oxidem uhličitým, který je obsažen v ovzduší. Po odpaření vlhkosti zůstává na povrchu konstrukce bělavý povlak tvořený uhličitánem vápenatým. Na povrchu konstrukce se postupem času mohou vytvořit rozsáhlé skvrny až krápníkovité útvary tvořené CaCO_3 .



Obr.1 Vápenné výkvěty krápníkovitého tvaru

2.1.3 Karbonatace betonu

Karbonatací betonu nazýváme neutralizační reakci, která vzniká při působení atmosférického oxidu uhličitého na produkty vytvořené při hydrataci cementu. CO_2 vstupuje do betonové konstrukce v plynné fázi. Při reakci oxidu uhličitého a cementového tmele dochází ke snižování pH betonu. V případě snížení alkality pod hraniční hodnotu $\text{pH} = 9,5$ započne proces postupné koroze výztuže betonu.

Současně s karbonáty, které jsou hlavním produktem reakce CO_2 a cementového tmele, vznikají novotvary CaCO_3 , usazující se v pórech a kapilárách betonu a snižují tak jeho propustnost vůči plynům a parám. Částečně tak dokáží zabránit dalšímu vnikání CO_2 do konstrukce. Tento pozitivní jev však není dostatečně účinný pro běžně používané betony - betony nižších a středních tříd pevnosti. U těchto betonů je pórovitost natolik značná, že ji CaCO_3 nedokáže podstatně ovlivnit. Karbonatace tak probíhá po celou životnost konstrukce, postupně prostupuje do větší hloubky. Degradací dopad karbonatace na betonové konstrukce je v první řadě umožnění koroze výztuže, v dalších etapách může docházet až ke ztrátě soudržnosti a pevnosti betonu.

2.1.4 Koroze výztuže betonu

Ke korozi výztuže dochází v důsledku vystavení chemickým, fyzikálním případně biologickým vlivům. Koroze způsobuje změnu struktury materiálu, který vede ke snižování pevnosti výztuže. Při ideálním stavu uložení výztuže v betonové konstrukci je výztuž izolována krycí vrstvou betonu od degradačních vlivů z vnějšího prostředí. Beton se svým stupněm pH 12,0 – 12,5 brání korozi výztuže, která se začíná projevovat v prostředí s hodnotou pH < 9,5. V takovém prostředí dochází k elektrolytické reakci, která za přítomnosti vlhkosti a kyslíku způsobuje korozi výztuže betonu. Dle průběhu korozivního procesu se u železobetonových konstrukcí nejčastěji objevuje koroze chemická, koroze elektrochemická a koroze interkristalická [2].

Koroze výztuže vede ke zvětšování objemu, který může dosáhnout až trojnásobku své původní hodnoty. Vznikají tak expanzivní tlaky o velikosti až 30 MPa, působící na krycí vrstvu. V důsledku objemových změn výztuže pak dochází k tvorbě trhlin, případně k oddělování částí krycí vrstvy.



Obr.2 Pokročilé stádium koroze výztuže v důsledku odpadnutí krycí vrstvy, na vodorovném prutu je již zřetelná laminární koroze

2.1.5 Štěrková hnízda a štěrkové pruhy

Štěrková hnízda a štěrkové pruhy identifikujeme na konstrukci jako shluky hrubého kameniva, kde jednotlivé zrna nejsou propojeny cementovým tmelem. Štěrková hnízda se projevují jako lokální porucha struktury betonu, štěrkové pruhy procházejí zpravidla celým průřezem konstrukce [3].

Nejčastější příčiny vzniku:

- Rozmísění betonové směsi vlivem špatného ukládání
- Žádné nebo nedostatečné vibrování betonové směsi
- Propustnost bednění vedoucí k odplavení cementového tmele
- Hustota výztuže zabraňující prostupu zrnům hrubého kameniva
- Nedostatečné zastoupení kameniva drobné frakce



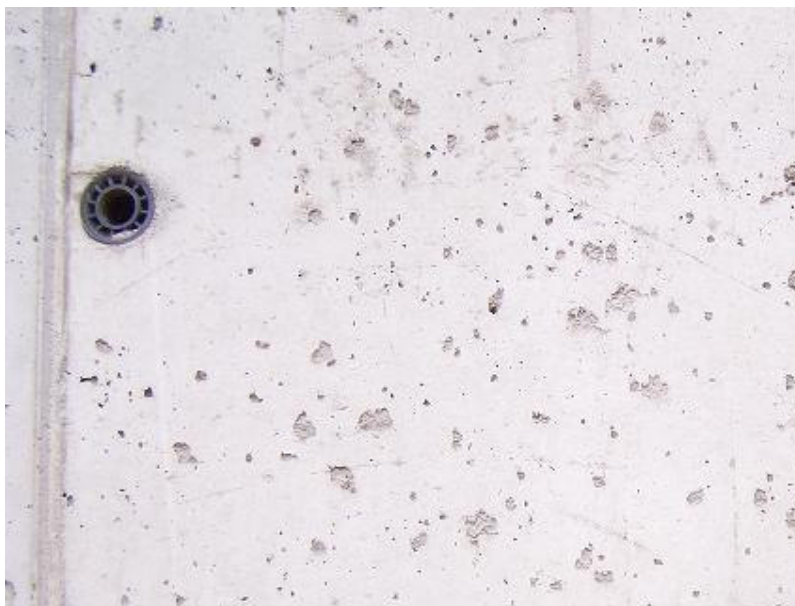
Obr.3 Štěrkové hnízdo vzniklé na nároží železobetonové stěny

2.1.6 Velikost vzduchových pórů

Pórovitost povrchové vrstvy betonové konstrukce má zásadní vliv na mrazuvzdornost betonu a na odolnost proti působení agresivních látek z okolního prostředí. Všechny agresivní látky způsobující korozi betonu, resp. ovlivňující korozi výztuže, pronikají do betonu přes průběžně „otevřené“ póry, které jsou dostatečně velké, aby umožnily pohyb molekul nebo iontů [1,3].

Příčinou vzniku vzduchových pór je nedostatečné hutnění betonové směsi při betonáži. Póry se tak vyskytují v celém objemu uloženého betonu.

Povrchové vzduchové póry vznikají při použití nevhodného separačního ošetření bednění, kdy nedochází k odvedení vzduchových bublin v okrajových vrstvách betonu.



Obr.4 Povrchové vzduchové póry

2.1.7 Chemická koroze betonu

Betonová konstrukce je během své životnosti vystavována mnoha vlivům působícím z okolního prostředí. Část těchto vlivů je zastoupena agresivními chemickými činiteli, kteří v různé míře způsobují postupnou a nevratnou degradaci betonu. V tabulce č.1, převzaté z ČSN EN 206-1, jsou uvedeny a seřazeny vlivy prostředí dle jejich závažnosti. Správné zařazení prostředí, ve kterém bude v budoucnu konstrukce zrealizovaná, nám pomůže navrhnout betonovou směs s takovými vlastnostmi, aby co nejlépe odolávala danému prostředí.

Činitelé ovlivňující rychlost korozního procesu [1]:

Činitelé klasifikující agresivitu okolního prostředí:

- Druh agresivního prostředí, určený povahou převažující agresivní složky
- Množství agresivní složky
- Fyzikální spolupůsobení
- Teplota agresivního prostředí

Činitelé ovlivňující odolnost betonu:

- Chemické a fyzikální složení cementového kamene
- Charakter pórové struktury betonu
- Minimální průřez konstrukce
- Vlastnosti styčné plochy, na kterou agresivní prostředí bezprostředně působí

Tab.1 Stupeň vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1 [8]

Třída prostředí	Popis prostředí	Informativní příklady prostředí
Bez rizika koroze		
X0	Beton bez výztuže nebo výztuž z tyčových profilů, vystavení všem vlivům kromě mrazu, obušování nebo chemickým vlivům Pro betony vyztužené betonářskou výztuží nebo výztuží z tyčových profilů v suchém prostředí	Betony uvnitř budov s velmi nízkou vzdušnou vlhkostí
Koroze způsobená karbonatací		
XC1	Suché, stále mokré	Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí Beton trvale ponořený ve vodě
XC2	Mokré, občas suché	Povrchy betonů vystavené dlouhodobému působení vody Základy
XC3	Středně vlhké	Beton uvnitř budov se střední nebo vysokou vlhkostí Vnější beton chráněný proti dešti
XC4	Střídavě mokré a suché	Povrchy betonů ve styku s vodou, ne však ve stupni vlivu prostředí
Koroze způsobená chloridy		
XD1	Středně vlhké	Povrchy vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu
XD2	Mokré, zřídka suché	Plavecké bazény Součásti betonu vystavené průmyslovým vodám obsahující chloridy
XD3	Střídavě mokré a suché	Části mostů vystavené postřikům obsahujícím chloridy Vozovky Betonové desky parkovišť
Koroze způsobená chloridy z mořské vody		
XS1	Vystavení slanému vzduchu, ale ne v přímém kontaktu s mořskou vodou	Stavby na mořském pobřeží nebo v jeho blízkosti
XS2	Trvale ponořené	Části staveb na moři
XS3	Smáčené a ostříkované přílivem	Části staveb na moři
Střídavé působení mrazu a rozmrazování		
XF1	Mírně nasycení vodou bez rozmrazovacích prostředků	Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu

XF2	Mírně nasycení vodou s rozmrazovacími prostředky	Svislé betonové povrchy konstrukcí pozemních komunikací vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu
XF3	Vysoké nasycení vodou bez rozmrazovacích prostředků	Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu
XF4	Vysoké nasycení vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům Betonové povrchy vystavené přímému ostřiku rozmrazovacími prostředky a mrazu Omývaná část staveb na moři vystavení mrazu
Vliv chemických sloučenin		
XA1	Mírně agresivní prostředí určené dle EN 206-1	Přírodní zemina a spodní voda
XA2	Středně agresivní prostředí určené dle EN 206-1	Přírodní zemina a spodní voda
XA3	Vysoce agresivní prostředí určené dle EN 206-1	Přírodní zemina a spodní voda

2.1.8 Opotřebení vzniklé působením mrazu

Degradační účinek mrazem je způsoben rozpínáním vody, která je obsažena v pórech beton. Při poklesu teplot pod bod mrazu začíná voda měnit své skupenství a navyšovat svůj objem až o 10%. Ve vodou naplněných pórech mohou vzniknout taková napětí, která značně převyšují pevnost v tahu. Střídáním působení mrazových cyklů způsobuje postupný rozpad struktury betonu [1].

Působení mrazu je často doprovázeno agresivními účinky rozmrazovacích solí, používaných např. pro údržbu komunikací v zimním období, které přispívají k chemické korozi betonu.

Mrazuvzdornost betonu je ovlivněna [1]:

- Množstvím a velikost pórů
- Počtem mrazových cyklů
- Intenzitou teplotních změn

2.1.9 Poškození vzniklé projevem lidské činnosti a provozem konstrukce

Lidská činnost a provoz konstrukce mohou významně ovlivnit vznik poruch vedoucí k dalším degradačním procesům. Jedná se především o poškození povrchových vrstev vlivem nárazů dopravních a přepravních prostředků, poškození přepravovaným materiálem, pád těžkých břemen, vliv pracovních procesů, změna provozu nebo účelu užívání, přestavba konstrukce apod. Za projev poškození konstrukce, především její pohledové funkce, můžeme v dnešní době považovat i grafity [3].

2.1.10 Poškození vzniklé havárií

Vlivem havarijní události je konstrukce vystavena jednorázovému extrémnímu zatížení, které může několikrát převyšovat navržené pevnosti betonu. Vzniklými poruchami se pak sníží spolehlivost a stabilita konstrukce, v extrémních případech dochází k její destrukci.

Příklady havarijních činitelů působících na konstrukci [6]:

- Výbuchy a tlakové vlny
- Seismické účinky
- Katastrofy přírodního rázu
- Požáry
- Závady a poruchy zařízení
- Mimořádné nerovnoměrné sednutí podloží

3. Diagnostika betonových konstrukcí

Diagnostika betonových konstrukcí je soubor zkušebních metod, které podávají informace o aktuálním stavu vyšetřované konstrukce, případně o vývoji stavu konstrukce v časovém úseku. Výsledky získané diagnostikou konstrukce, jsou dále použitelné pro provedení statického posudku a v případě potřeby pro návrh vhodného sanačního opatření.

Diagnostická měření můžeme provádět jak u konstrukcí se starším datem výstavby, tak u konstrukcí nově vybudovaných. Starší konstrukce můžeme vyšetřovat z důvodů zjištění aktuálního stavu pro plánované přestavby či změny užívání konstrukce, při oceňování objektu pro majetkové změny, v případě budoucí výstavby v okolí sledované konstrukce nebo při vzniku mimořádného zatížení apod. Důvodem diagnostiky nových konstrukcí jsou především pochybnosti o vlastnostech použitých materiálů nebo dodržení správných pracovních postupů při výstavbě.

Závažným důvodem pro provedení diagnostické prohlídky konstrukce je výskyt náznaků, které mohou znamenat statické porušení konstrukce a tím i ohrožení bezpečnosti užívání.

3.1 Postup diagnostiky betonových konstrukcí

Před započítím diagnostiky je nutné stanovit si cíle pro vyšetření konstrukce, které musí vyhovovat požadavkům investora. Specifikace cílů nám pak přibližně ohraničí rozsah prováděných diagnostických prací.

Vyšetřovaná konstrukce se v prvním kroku diagnostického průzkumu podrobí vizuální prohlídce. Důkladná prohlídka povrchu konstrukce může pomoci zjistit a lokalizovat poruchy projevující se na viditelných částech vyšetřovaného objektu.

Nejčastěji identifikovatelné vizuální vady a poruchy [3]:

- Trhliny
- Vápenné výkvěty a výluhy
- Porušení a odpadávání krycích vrstev betonu vedoucí k obnažení výztuže
- Znaky koroze výztuže betonu
- Štěrková hnízda a šterkové pruhy
- Velikost vzduchových pórů na povrchu konstrukce
- Chemické koroze betonu
- Opotřebení vzniklé působením mrazu
- Poškození projevy lidské činnosti a provozem konstrukce

V dalších krocích diagnostického průzkumu se již přechází k metodám, které podrobněji mapují stav konstrukce. Pro provedení některých zkoušek je nutný odběr zkušebních vzorků, případně do konstrukce povrchově zasáhnout.

3.2 Rozdělení diagnostických metod

Diagnostické metody používané pro zjišťování stavu betonových konstrukcí se rozdělují na metody nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní.

3.2.1 Nedestruktivní metody

Při provádění nedestruktivních zkoušek nedochází k destrukci či významnému poškození zkušebního tělesa či konstrukce. Může však dojít k poškození vzniklém při přípravě povrchu pro provedení zkoušky (nejčastěji broušením) nebo na povrchu zůstanou známky po vniknutí či otisknutí částí zkušebního zařízení. Nedestruktivní metody jsou používány převážně přímo v terénu na vyšetřované konstrukci. Umožňují opakované měření v blízkosti místa předchozího provedení zkoušky. Údaje získané nedestruktivními zkouškami jsou pomocnými charakteristikami a je nutné je pomocí korelačních vztahů upravit na charakteristiky požadované.

Nedestruktivní diagnostické metody:

- Vizuální kontrola
- Akustická trasovací metoda
- Podrobná analýza trhlin
- Tvrdoměrné metody – odrazové, vtiskové, smykové
- Optické metody
- Ultrazvuková impulzová metoda
- Elektrické metody
- Radiometrické a radiografické metody

3.2.2 Semidestruktivní metody

Při provádění semidestruktivních zkoušek nebo odběru potřebných vzorků, dochází k zásahu do konstrukce, který nemá vliv na použitelnost a stabilitu vyšetřované konstrukce. Vzniklé zásahy do konstrukce jsou následně jednoduše opravitelné.

Semidestruktivní diagnostické metody:

- Metody pro vyšetření stavu a polohy výztuže – sekané sondy
- Tvrdoměrné metody – vnikací
- Přídržnost povrchových vrstev – odtrhové zkoušky
- Trvanlivostní zkoušky

3.2.3. Destruktivní metody

Při provádění destruktivních zkoušek dochází k destrukci zkušebního tělesa či konstrukce. Provedení zkoušky již nelze opakovat na stejném vzorku. Destruktivními metodami se získávají přímé údaje o pevnostních vlastnostech zkoušeného vzorku.

Destruktivní diagnostické metody:

- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu za ohybu
- Pevnost v příčném tahu
- Modul pružnosti

3.3 Přehled vybraných diagnostických metod

3.3.1 Akustická trasovací metoda

Akustická trasovací metoda je jednoduchým a účelným způsobem pro odhalení dutin a oddělených vrstev sledované konstrukce. Princip metody je založen na zvukové odezvě, která vzniká poklepem ocelové kuličky, případně kladívka, na povrch konstrukce. Akustické trasování tak lokalizuje poruchy, které se přímo neprojevují na povrchu konstrukce. Jsou to především dutiny a místa s odlupující se krycí vrstvou.

3.3.2 Vyšetřování trhlin

Trhliny vznikající na konstrukci se rozdělují na dva základní typy - trhliny pasivní a trhliny aktivní. Šířka pasivních trhlin je od vzniku konstantní a je již dále v čase neměnná. Šířka aktivních trhlin se může periodicky měnit nebo postupně rozměrově narůstat. Rozdělení aktivních a pasivních trhlin se provádí pomocí sádrové destičky, která se umístí přes vyšetřovanou trhlínu. Porušení sádrové značky odhaluje aktivní trhlínu.

Šířka trhliny se orientačně změří příložnou srovnávací kartou, pomocí které je možno odhadnout šířku trhliny s přesností na 0,05 mm. Pro přesnější měření se užívají měřící lupy či mikroskopy. Dalšími způsoby měření šířky trhlin jsou analogové a digitální úchylkoměry, ultrazvuk, příložné sázecí deformetry, případně odporové a strunové tenzometry.

Hloubka trhliny se měří pomocí jádrového vývrtu. Pro vyloučení změny rozměrů trhliny během provádění odběru vzorku, je možno trhlínu v oblasti vývrtu předem zainjektovat epoxidovou pryskyřicí.

Dalšími pozorovanými vlastnostmi trhlín je jejich délka, rozvoj v časovém úseku a směr průběhu.

3.3.3 Stanovení vlhkosti betonu

Vlhkost spolu s některými dalšími vnějšími činiteli podstatně ovlivňuje vznik porušení betonu. Vlhkost betonu se stanovuje několika různými metodami.

Jednoduchá metoda stanovení vlhkosti betonu je např. pomocí přenosného přístroje Concrete Moisture Encounter. Metoda je založena na principu nedestruktivního měření impedance přímo na konstrukci. Při měření jsou do betonu vysílány nízkofrekvenční signály a zaměřují se změny impedance vyvolané vlhkostí betonu. Přístroj je kalibrován pro vlhkost betonu v rozpětí od 0 do 6 %.

Vlhkost betonu je možné přímo stanovit gravimetricky v laboratoři. Tato metoda podává nej přesnější výsledky. Odběr vzorku se provádí ručně, pomocí sekáče a kladiva nebo jádrovým vývrtem. Získaný vzorek se pro transport skladuje do vzduchotěsné nádoby, případně igelitové fólie, aby se zamezilo změnám vlhkosti během transportu. Výsledek zkoušky udává rozdíl hmotnosti vody vztažený k hmotnosti vysušeného vzorku.

3.3.4 Vyšetřování hloubky karbonatace betonu

Karbonatace betonu je korozivní proces způsobený vlivem oxidu uhličitého, kdy v betonu vznikají vápenaté karbonáty. Důsledkem karbonatace beton ztrácí alkalitu a vzniká tak koroze výztuže.

Metody stanovení karbonatace betonu [9]:

- Kalorimetrické indikátory
- Potenciometrické měření pH metrem
- Chemický rozbor materiálu
- Rentgenová difrakční analýza
- Diferenční termická analýza
- Stanovení pH ve výluhu
- Snímkování mikrostruktury elektronovým mikroskopem

Kalorimetrické indikátory

Kalorimetrické indikátory pracují na principu změny zbarvení v závislosti na pH prostředí.

Karbonatace betonu se nejčastěji určuje pomocí 1%-ního roztoku fenolftaleinu v etylalkoholu. V kyselém prostředí je bezbarvý, v bazickém prostředí se červenofialově zbarví. Zbarví-li se vzorek po nanesení indikačního roztoku, je hodnota pH v bezpečném rozsahu. Mezní hodnotou pro železobetonové konstrukce je pH 9,5, kdy při poklesu pod tuto hranici dochází ke korozi výztuže. Pro stanovení hloubky karbonatace v terénu, se konstrukce navrtává a zkouška se provádí na prachu, který je vynášen vrtákem. Na materiálu odebraném z různé hloubky se provádí orientační zkouška pomocí roztoku fenolftaleinu [2].

Méně používané indikátory jsou dále m-nitrofenol (žlutooranžové zbarvení při $\text{pH} > 8,0$), thimolftalein (modré zbarvení při $\text{pH} > 10,0$) a nitramín (oranžovohnědé zbarvení při $\text{pH} > 11,5$).

Pro vyšetřování hloubky karbonatace je často používán také 10%-ní roztok kyseliny chlorovodíkové, který se nanáší na lomovou plochu vzorku. Při reakci kyseliny a zkarbonatované vrstvy vzniká bouřlivá šumivá reakce. HCl reaguje se sekundárními karbonáty v cementovém tmelu.

Stanovení pH ve výluhu

Pro měření hodnoty pH je vhodné použít vzorky vzniklé příčným řezem z jádrových vývrtů, lze použít i úlomků a prachu vzniklého při navrtávání konstrukce. Jsou tak získány vzorky s rozdílnou vzdáleností od povrchu. Zkušební materiál se dále rozmělní ve vibračním mlýnu na analytickou jemnost, tj. jemnost, aby částice beze zbytku prošly sítím o velikosti otvoru 0,06 mm dle ČSN 15 3105. Prosetý podíl se důkladně zhomogenizuje a ponechá sušit při 60° po dobu 24 hodin. Následně se vzorek smísí s 100 ml destilované vody a nechá se vyluhovat. Hodnota pH vzniklého výluhu se určuje potenciometricky pH metrem nebo lakmusovým papírkem [9].

Chemický rozbor materiálu

Chemický rozbor prováděný na vzorcích z vyšetřované konstrukce se zaměřuje především na stanovení obsahu sloučenin, které vznikly vlivem účinků látek, jejichž výskyt je pro okolní prostředí konstrukce charakteristické.

Nejčastěji vyšetřované sloučeniny [9]:

- Nerozložitelný podíl
- Oxid vápenatý
- Oxid železitý
- Oxid manganatý
- Oxid hořečnatý
- Oxid sodný
- Oxid draselný
- Síranová síra
- Chloridy

Rentgenová difrakční analýza

Rentgenová difrakční analýza je metoda založená na interakci rentgenového záření s elektrony atomů spočívající v pružném (bezfotonovém) rozptylu. Díky pravidelnému periodickému uspořádání atomů v krystalické fázi dochází po rozptylu a následné interferenci rentgenového záření ke vzniku difrakčních maxim, jejichž poloha, intenzita a tvar závisí na druhu atomů a dokonalosti jejich uspořádání v 3D prostoru. Studium tohoto difrakčního obrazce pak umožňuje zpětně studovat krystalické složení vzorku a jeho mikrostrukturu.

Diferenční termická analýza

Diferenční termická analýza je dynamická tepelná analytická metoda, zabývající se teplotními efekty zkoumaného vzorku při jeho plynulém zahřívání nebo ochlazování. Metoda je založena na principu sledování rozdílu teplot zkoumaného vzorku a referenčního vzorku (etalonu).

Na referenční vzorek se kladou požadavky inertnosti a stability, nesmí v rozsahu používaných teplot prodělat fázovou přeměnu. Jako etalony se nejčastěji používá korund, periklas, křemen nebo některé čisté kovy.

Výsledkem analýzy je grafický záznam, který zobrazuje výkyvy teplotních rozdílů v závislosti na tom, zda při přeměně dochází k výdeji nebo dodávání tepelné energie.

Snímkování mikrostruktury elektronovým mikroskopem

Elektronový mikroskop je přístroj, který postupně vytváří zvětšený obraz vzorku nikoliv optikou světelných paprsků, ale s využitím ostře fokusovaného svazku elektronů. Tento dopadající svazek vyvolává fyzikální signál, který je zdrojem informací o místě dopadu primárního elektronového svazku na povrch vzorku. Elektronový svazek se pohybuje po povrchu vzorku a dává vznik signálu, který podává informace o charakteristikách pozic na vzorku, po kterých tento svazek přešel. Z těchto signálů se pak stanovuje výsledný obraz přenášený na zobrazovací zařízení. V závislosti na druhu zpracovávaného signálu (detektoru)

se získávají informace o povrchové topografii útvarů vytvářejících povrchový reliéf, o lokálních změnách v chemickém složení a o některých dalších fyzikálních vlastnostech vzorku.

3.3.5 Pórovitost a propustnost betonu

Pórovitostí a propustností cementového tmele a kameniva je výrazně ovlivněna trvanlivost betonové konstrukce.

Pro měření poloměru pórů, celkového objemu pórů a procentuálního rozdělení pórů dle velikosti se využívá vysokotlaká rtuťová porozimetrie. Touto metodou je možno vyšetřovat póry o velikosti 3,75 až 7500nm [1].

Otevřená pórovitost povrchové vrstvy betonu významně ovlivňuje trvanlivostní vlastnosti betonu. Jedná se především o mrazuvzdorost betonu a odolnost proti pronikání agresivních látek do betonu, kdy může dojít k ohrožení betonářské výztuže. Povrchová pórovitost se stanovuje měřením plynopropustnosti povrchových vrstev betonu. Měrnou plynopropustnost je definována jako schopnost betonu propouštět vzduch při rozdílu tlaků.

Plynopropustnost se stanovuje na vzorcích získaných z jádrových vývrtů o průměru 50 – 100 mm. Z jádrových vývrtů se dále oddělí válečky o výšce 10 – 30 mm. Takto upravený vzorek se vloží do měřicí jednotky, ve které projde vzorkem předepsané množství plynu.

3.3.6 Tvrdoměrné zkoušení betonu – metoda Schmidtova tvrdoměru.

Tvrdost materiálu je veličina určující odpor zkoušeného materiálu proti tvárné deformaci. Tvrdost není definovatelná jako jednoznačná fyzikální veličina. Určuje se různými metodami, které ze stejného zkušebního místa mohou podávat rozdílné hodnoty. Mezi jednotlivými tvrdoměrnými metodami existují jen přibližné porovnávací vztahy. Stejně tak nelze určit přesné převodní vztahy mezi zjištěnou tvrdostí a jinými mechanickými veličinami, především pevností. Orientační hodnoty příslušných pevností se získávají z naměřených tvrdostí pouze pomocí kalibračních vztahů [10].

Metoda Schmidtova tvrdoměru

Schmidtův tvrdoměr je pružinový tvrdoměr, který je složen z razníku, beranu, pružin a vlečného ukazatele s měřítkem. Zatlačením razníku a uvolněním závěsu dochází k pohybu beranu, který dopadne na razník, odrazí se a posune vlečný ukazatel na měřítku do pozice, která odpovídá hodnotě velikosti odrazu. Hodnotu odrazu ovlivňuje poloha tvrdoměru při měření. Základní poloha tvrdoměru je ve vodorovném směru. Měření se provádí přiložením tvrdoměru kolmo k povrchu zkušebního tělesa na cementovou maltu. Na zkušebním tělese se vybere takové místo, které reprezentuje zkušební plochu. Tvrdoměr se pomalým pohybem stlačuje až do provedení rázu. Na stupnici se zaznamená naměřená hodnota tvrdosti. Na jednom referenčním místě se provede minimálně 5 platných měření. Za platné měření se považuje taková zkouška, jejíž výsledek se neliší o více jak 20% od aritmetického průměru všech měření [11].

Z provedených měření se vypočítá aritmetický průměr, z něhož se pomocí kalibračního vztahu určí pevnost v tlaku s nezaručenou přesností.

Výhodou tvrdoměrných metod je jejich nedestruktivní charakter, možnost rychlého a opakovatelného měření na jednom referenčním místě. Nevýhodou je nepřesný výsledek použitelný pouze jako orientační ukazatel.

Rozdělení Schmidtových tvrdoměrů dle vyvozené energie [11]:

- Typ N – vyvozená energie 2,25 J (používáný v běžném pozemní a mostním stavitelství)
- Typ L – vyvozená energie 0,75 J (používáný pro tenkostěnné prvky, malé stavební dílce náchylné na náraz)
- Typ M – vyvozená energie 30,00 J (používáný pro masivní betonové konstrukce – přehrad, vozovky, letištní dráhy atd.)

Další typy tvrdoměrů dle ČSN 73 1373 [11]:

- Waitzmannův tvrdoměr
- Kuličkový tvrdoměr
- Špičákový tvrdoměr

3.3.7 Jádrové vývrty

Na vzorcích odebraných jádrovými vývrty se určují objektivní vlastnosti vyšetřovaného betonu, především pevnosti v tlaku a tahu. Odběrem jádrových vývrtů se již částečně zasahuje do vyšetřované konstrukce, proto je třeba zvážit rozsah odběru. Pro vývrt se volí místa reprezentující strukturu betonu, dostatečně vzdáleny od spár a hran vyšetřované konstrukce, dále pak v místech s malým nebo žádným vyztužením. Odebírají se minimálně 3 vzorky. Odebrané jádrové vývrty se před prováděním zkoušek stanovující pevnosti betonu upraví broušením nebo koncováním.

Průměr vzorku je závislý na velikosti největšího zrna kameniva, kdy poměr mezi velikostí zrna a velikostí průměru vývrtu by měl být menší než 1:3. Délka vývrtu by se měla pohybovat v rozmezí štíhlostí (poměru mezi delkou vývrtu a průměrem vývrtu) 1,0 až 2,0.

Pevnost betonu prováděná na vzorku s poměrem délky a průměru 1:1 je srovnatelná s krychelnou pevností, pevnost betonu prováděná na vzorku s poměrem délky a průměru 2:1 je srovnatelná s pevností válcovou.

Při odběru vzorku jsou zaznamenávány tyto údaje [3]:

- Popis a identifikace zkušebního tělesa a místa odběru
- Datum provedení odběru
- Vizuální vyšetření povrchu a skladby konstrukce
- Maximální zrno kameniva, jeho druh, tvar a případně známky degradace
- V případě výskytu výztuže její druh, průměr, směr, množství a druh koroze
- Délka a průměr vývrtu
- Barvu cementového tmele
- Šířku krycí vrstvy
- Vyskytující se poruchy

Při zkoušení vzorku jsou zaznamenávány tyto údaje [3]:

- Poměr mezi délkou a průměrem zakončeného vzorkem
- Způsob zakoncování vzorku
- Datum provedení zkoušky a stáří vzorku
- Objemovou hmotnost vzorku
- Pevnost v tlaku vývrtu
- Jakékoliv odchylky od normového postupu provedení zkoušek

3.3.8 Vyšetřování polohy výztuže

Poloha výztuže se provádí několika metodami. Čistě nedestruktivní metodou určení polohy je pomocí přístroje profometr. Profometr je zaznamenává změnu velikosti magnetického toku, kterou způsobuje přítomnost feromagnetického materiálu v elektromagnetickém poli vytvořeném profometrem. Pomocí profometru se vyšetřuje poloha, množství a průměr výztuže. Dosah přístroje pro objektivní měření se pohybuje okolo 100 mm. Hloubka je ovlivněna množstvím výztuže a povrchovými vrstvami. Profometrické měření je nutné doplnit sekanou sondou pro ověření výsledků.

Lokálním obnažení výztuže sekanou sondou se provádí přímo na konstrukci. Ohraničení sekané sondy se provede úhlovou bruskou s řezným diamantovým kotoučem, následně se pomocí sekáče a kladiva oddělí krycí vrstva výztuže. Na obnažené výztuži se zaměřuje průměr, šířka krycí vrstvy, míra korozivního poškození a hloubka karbonátce. Místo provedení sekané sondy se následně opraví reparační maltou.

3.3.9 Zátěžové zkoušky

Při provádění zatěžovacích zkoušek se přímo sleduje chování vyšetřovaného prvku při skutečném působení zatížení nebo vlivů prostředí. Výsledky zatěžovacích zkoušek pak slouží jako podklad pro návrh stavebních dílců a konstrukcí. Zatěžovací zkoušky se provádějí především pro konstrukce s mimořádnými požadavky na spolehlivost a u hromadně vyráběných prvků. U běžných konstrukcí se zátěžové zkoušky provádějí jen mimořádně.

Zatěžovacími zkouškami se hodnotí [10]:

Funkce vyšetřovaného prvku při působení statického a dynamického zatížení

Spolehlivost vyšetřovaného prvku dle mezních stavů použitelnosti a únosnosti

Dodržení předepsaných vlastností vyšetřovaného prvku

Zatěžovací zkoušky rozdělujeme dle dosažení zkušebního stupně zatížení na zkoušky bez dosažení únosnosti zkušebního vzorku, kdy se hodnotí velikost přetvoření a rozvoj trhlin a zkoušky do dosažení stupně mezního stavu únosnosti. Zatěžování vyšetřovaného prvku se provádí nejčastěji hydraulickým zařízením. Zkušební zatížení působí ve směru budoucího skutečného zatížení. Často se také provádí zatěžování manipulačních úchytů na konstrukci, kdy jsou úchyty zatěžovány ve směru působení zatížení během transportu a manipulace.

4. Experimentální část – Diagnostika parkovací plochy z drátkobetonu

4.1 Vláknobeton – charakteristika materiálu

Vláknobeton je speciální druh betonu, který je vyztužen rozptýlenou výztuží tvořenou vlákny. Vlákná v betonovém prvku zachycují lokální tahové napětí a výrazně tak zlepšují pevnostní vlastnosti betonu, především pevnost betonu v tahu. Rozptýlená výztuž dále usměrňuje působení objemových změn betonové směsi a s tím spojený vznik trhlin.

Pro výrobu vláknobetonu se používají vlákna z různých materiálů., nejčastěji používaná jsou vlákna ocelová, vlákna skleněná a vlákna polypropylenová. Ocelová a skleněná vlákna zlepšují pevnost betonu v tahu, polypropylenová vlákna ovlivňují vznik a rozvoj trhlin způsobené objemovými změnami. Vláknobeton vyztužený ocelovými vlákny se nazývá drátkobeton a jedná se o nejčastěji vyráběný vláknobeton.

Vláknobeton lze použít v mnoha stavebních odvětvích. Největší díl z celkového objemu vyráběného monolitického vláknobetonu je používán pro konstrukce průmyslových podlah, desek vozovek, parkovacích a letištních ploch. Vláknobeton dále nachází uplatnění v prefabrikované výrobě dílců, výstavbě tunelů, výstavbě tenkostěnných konstrukcí, základových konstrukcí atd.

4.2 Dávkování drátků v betonové směsi

4.2.1 Obvyklé dávkování drátků v betonové směsi

Bezporuchového užívání drátkobetonové konstrukce se dosahuje dodržáním správného dávkování a rovnoměrného rozmístění drátků v konstrukci. Obvyklé dávkování drátků v betonové směsi u vybraných typů konstrukce je uvedeno v tabulce č.2. Rovnoměrné

rozmístění drátků v konstrukci a vyloučení tvorby shluků drátků tzv. “ježků“, se zaručuje správným způsobem dávkování a dostatečnou dobou mícání betonové směsi s drátky.

Tab.2 Obvyklé dávkování drátků ve vybraných typech konstrukce [15]

Typ konstrukce	Dávkování drátku v kg/m ³
Průmyslové podlahy s řezanými spárami	20 - 25
Průmyslové podlahy bez spár	35 - 45
Stříkaný drátkobeton	30 - 50
Základové konstrukce	40 - 60
Stropní desky z drátkobetonu	80 - 100

4.2.2 Kontrola dávkování drátků v betonové směsi

Zjišťování množství drátků je možno provádět na vzorcích z čerstvého i ztvrdlého betonu. Z hmotnosti separované drátkové výztuže a objemu vzorku je pak možno určit dávkování drátků v betonové směsi.

Metody ověřování množství dávkování drátkové výztuže:

Rozplavování čerstvé betonové směsi

Tradiční způsob kontroly dávkování na čerstvém betonu je rozplavování betonové směsi vodou a následné separace drátků magnetem. Tento způsob je však pracný a časově náročný.

Ověřování dávkování pomocí přístroje dosometr

V současnosti se používá rychlejší metoda pomocí přístroje dosometr, který je také založená na principu magnetické separace. Dosometr je tvořen násypkou se silným odklopným magnetem. Do násypky se nalije čerstvá betonová směs a magnetem z ní separuje prvky

drátkové výztuže. Zbývá betonová směs následně odteče výtokovým otvorem. Po odklopení magnetu se drátky přesypou do předem připravené nádoby.

Ověřování dávkování na ztvrdlém betonu

Vzorek pro kontrolu dávkování se pořizuje jádrovým vývrtem. Vývrt je následně upraven zakončováním a jsou změřeny rozměry a hmotnost pro stanovení objemové hmotnosti. Zkušební vzorek se následně rozdrtí v laboratorním drtiči. Z takto upraveného zkušebního vzorku se následně magnetickou separací oddělí částice drátkové výztuže.

4.3 Diagnostika drátkobetonové konstrukce parkovací plochy

4.3.1 Odběr a úprava vzorků

Odběr vzorku byl proveden jádrovou vrtáčkou s vrtací korunkou o průměru 100 mm. Z parkovací plochy o celkové rozloze 10 000 m² byly vyčleněny tři referenční oblasti o dílčí rozloze 1200 m². Z každé oblasti bylo vyjmuto 10 jádrových vývrtů. Celkem bylo odebráno 30 jádrových vývrtů. Jednotlivé vzorky byly po výjmutí označeny identifikačním popisem.

Jádrové vývrty byly následně upraveny zakončováním a bylo provedeno měření rozměrů a hmotnosti. Ze získaných hodnot byla vypočtena objemová hmotnost betonu ρ [kg.m⁻³] dle vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Kde:

m - hmotnost zkušebního tělesa [kg]

V - objem zkušebního tělesa [m³]

4.3.2 Stanovení pevnosti betonu v tlaku

Stanovení pevnosti betonu v tlaku (dle ČSN 731317 - Z2) bylo prováděno na zkušebním lisu firmy BetonSystém s maximální silou 300 kN, příp. 4000 kN. Jednotlivé vzorky se vkládaly mezi tlačné desky lisu, kde byly plynule zatěžovány. Záznamové zařízení zkušebního lisu zaznamenávalo maximální sílu, při které došlo k porušení vzorku namáhaného tlakem [14].

Štíhlost λ vzorků (poměr výšky k průměru) se pohybovala v rozmezí $1 < \lambda < 2$, proto byla válcová pevnost v tlaku $R_{c,cy}$ [MPa] vypočtena ze vztahu:

$$R_{c,cy} = \chi_{c,cy} \cdot \frac{F}{A}.$$

Kde:

F - maximální síla, kterou působil lis na vzorek [N]

A - tlačná plocha zkoušeného vzorku [mm²]

$\chi_{c,cy}$ - opravný součinitel získaný ze vztahu:

$$\chi_{c,cy} = 0,80 + \sqrt{\frac{\lambda - 0,933}{26,667}}.$$

Vypočtená opravená válcová pevnost v tlaku byla dále pomocí převodního součinitele $\chi_{cy,cu}$ převedena na krychelnou pevnost zkušebních těles základních velikostí $R_{c,cu}$. Hodnoty převodního součinitele $\chi_{cy,cu}$ jsou uvedeny v tabulce č.3.

Tab.3 Hodnoty převodního součinitele $\chi_{cy,cu}$ při pevnosti betonu zjištěné na válcích základních rozměrů [14]

$R_{c,cy}$	[MPa]	4,0 - 25	25,1 - 35	35,1 - 50	50,1 - 60
$\chi_{cy,cu}$	[-]	1,25	1,2	1,15	1,1

Výsledné hodnoty krychelné pevnosti $R_{c,cu}$ jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulce č.4.

Tab.4 Přehled pevností v tlaku

Označení vzorku	Rozměry vzorku		Pevnost v tlaku	Štíhlost	Opravný součinitel	Opravená válcová pevnost	Krychelná pevnost
	Průměr	Výška					
	[mm]	[mm]					
V 1	93,5	115,3	31,36	1,234	0,92	28,85	34,62
V 2	93,5	100,8	34,62	1,078	0,87	30,12	36,15
V 3	93,5	106,1	49,56	1,136	0,89	44,10	50,72
V 4	93,4	103,6	38,41	1,110	0,88	33,80	40,56
V 5	93,2	108,0	37,72	1,159	0,89	33,57	40,28
V 6	93,5	119,9	32,86	1,282	0,91	29,90	35,89
V 7	93,5	130,5	35,45	1,396	0,93	32,97	39,56
V 8	93,5	108,4	38,44	1,158	0,89	34,21	41,06
V 9	91,6	117,7	32,33	1,286	0,91	29,42	35,30
V 10	93,9	115,5	38,95	1,229	0,91	35,44	40,76
V 11	92,9	124,0	40,83	1,335	0,92	37,56	43,20
V 12	93,6	130,5	37,61	1,395	0,93	34,98	40,23
V 13	93,4	125,4	32,55	1,343	0,92	29,94	35,93
V 14	93,8	118,4	39,37	1,263	0,91	35,82	41,20
V 15	93,5	123,7	47,14	1,323	0,92	43,37	49,87
V 16	93,2	105,9	29,03	1,135	0,89	25,84	31,01
V 17	93,3	116,8	43,75	1,252	0,89	38,94	44,78
V 18	93,5	114,1	40,70	1,220	0,90	36,63	42,12
V 19	92,8	114,2	42,07	1,231	0,91	38,28	44,02
V 20	93,0	120,9	39,28	1,299	0,92	36,14	41,56
V 21	92,8	123,0	40,49	1,325	0,92	37,25	42,83
V 22	93,6	115,5	50,31	1,234	0,91	45,78	52,65
V 23	93,5	107,1	36,08	1,145	0,89	32,11	38,53
V 24	93,6	97,7	48,67	1,043	0,86	41,86	48,14
V 25	93,7	85,2	35,28	0,909	0,85	29,99	35,98
V 26	93,6	93,3	48,65	0,996	0,85	41,35	47,55
V 27	93,0	114,7	41,19	1,233	0,91	37,48	43,11
V 28	93,7	113,4	38,03	1,211	0,90	34,22	41,07
V 29	93,6	118,0	43,65	1,261	0,91	39,72	45,68
V 30	93,8	118,6	36,41	1,265	0,91	33,14	39,76

Pro zařazení betonu do pevnostní třídy bylo provedeno statistické hodnocení (dle ČSN EN 13822) souboru všech 30 vzorků. Pro výpočet charakteristické krychelné pevnosti byl vypočten aritmetický průměr jednotlivých výsledků pevností v tlaku m_x , směrodatná odchylka s_n a variační koeficient V_x .

Výpočet průměrné hodnoty pevností v tlaku m_x :

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1274,43}{30} = \underline{\underline{42,48MPa}}$$

Kde:

x_i - jednotlivé výsledky zkoušek pevnosti v tlaku ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{30}$)

n - celkové množství vzorků.

Výpočet směrodatné odchylky s_n :

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{791,57}{29}} = \underline{\underline{5,224}}$$

Výpočet variačního součinitele V_x :

$$V_x = \frac{s_n}{m_x} = \frac{5,224}{41,47} = \underline{\underline{0,123}}$$

Výpočet charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku X_k :

$$\begin{aligned} X_k &= m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x) \\ X_{30} &= 42,48 \cdot (1 - 1,73 \cdot 0,123) \\ X_{30} &= \underline{\underline{33,44MPa}} \end{aligned}$$

Kde:

k_n – součinitel pro stanovení 5% kvantilu charakteristické hodnoty pevnosti v tlaku.

Tab.5 Hodnoty součinitele k_n pro diagnostiku neznámé konstrukce [13]

Počet vzorků	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	>30
Součinitel k_n	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2	1,92	1,76	1,73	1,64

Výsledná charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku je $X_{30}= 33,44$ MPa, beton náleží do pevnostní třídy C 25/30. Zatřídění bylo provedeno dle ČSN EN 206-1.

Tab.6 Pevnostní třídy betonu v tlaku [8]

Pevnostní třída betonu	Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]	
	Válcová pevnost $f_{ck, is, cyl}$	Krychelná pevnost $f_{ck, is, cube}$
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	40
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

V rámci experimentální části této bakalářské práce bylo provedeno statistické hodnocení dílčích souborů vzorků. První soubor byl tvořen 3 vzorky (vzorky V1,V2,V3). Počet vzorků v následujících souborech byl zvýšen vždy o jeden následující vzorek v řadě (V1,V2,V3,V30). Celkem bylo vytvořeno 28 dílčích statistických souborů. Poslední soubor obsahoval všech 30 zkušebních vzorků a jeho výsledky byly použity pro zatřídění betonu do pevnostní třídy. Tento soubor byl dále použit jako referenční soubor pro srovnání odchylky ve výsledných charakteristických pevnostech betonu v tlaku dílčích souborů. Cílem srovnání bylo stanovení minimálního počtu zkušebních vzorků, kdy odchylka charakteristické pevnosti v tlaku spadá do přijatelných mezí ve srovnání s referenčním souborem. Výsledné srovnání procentuálního rozdílu v pevnostech je uvedeno v tabulce č.7.

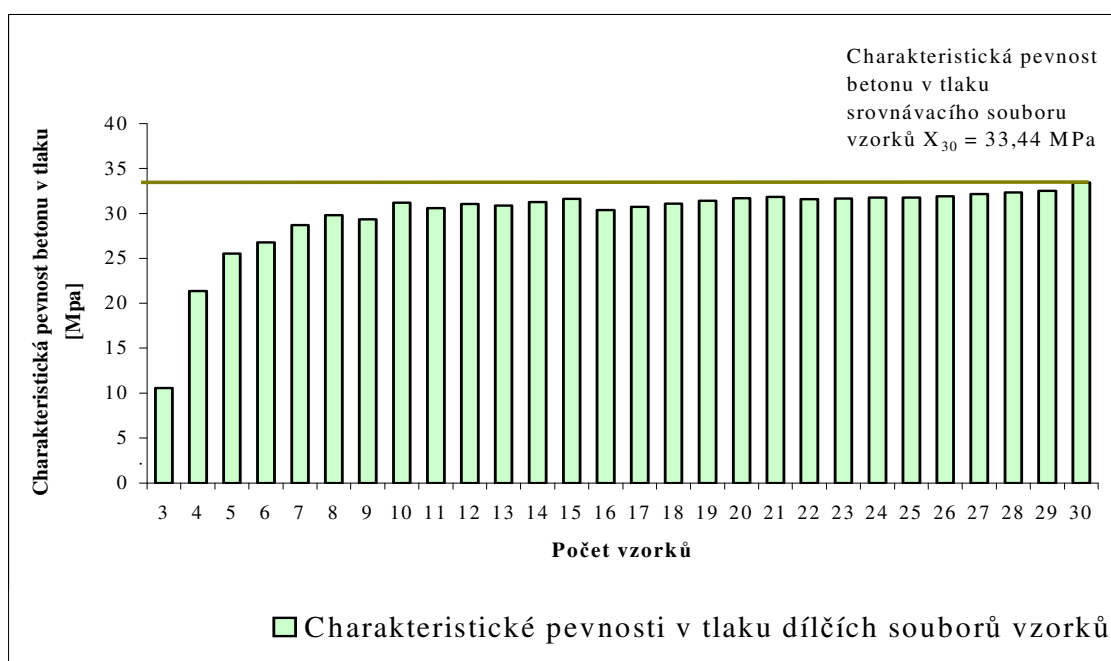
Tab.6 Přehled charakteristických hodnot pevností betonu v tlaku dílčích souborů

soubor vzorků		1. - 3.	1. - 4.	1. - 5.	1. - 6.	1. - 7.	1. - 8.	1. - 9.	1. - 10.	1. - 11.	1. - 12.	1. - 13.	1. - 14.	1. - 15.	1.-16.
Průměrná pevnost v tlaku m_x	[MPa]	40,5	40,51	40,2	39,7	39,52	39,86	39,18	41,54	39,86	39,89	39,58	39,7	40,38	39,79
Směrodatná odchylka s_n	-	8,89	7,26	6,29	5,92	5,41	5,03	5,12	5,38	4,82	4,6	4,53	4,38	4,97	5,34
Variační koeficient V_x	-	0,22	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,13
Součinitel 5% kvantilu charakteristické hodnoty k_n	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2	2	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,76	1,76
Charakteristická pevnost v tlaku dílčích souborů X_k	[MPa]	10,55	21,36	25,54	26,79	28,7	29,8	29,36	31,21	30,6	31,06	30,88	31,29	31,63	30,39
Charakteristická pevnost v tlaku srovnávacího souboru X_{30}	[MPa]	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44
Rozdíl charakteristických pevností v tlaku $X_k - X_{30}$	[%]	68,5	36,1	23,6	19,9	14,2	10,9	12,2	6,7	8,5	7,1	7,7	6,4	5,4	9,1
soubor vzorků		1. - 17.	1. - 18.	1. - 19.	1. - 20.	1. - 21.	1. - 22.	1. - 23.	1. - 24.	1. - 25.	1. - 26.	1. - 27.	1. - 28.	1. - 29.	1. - 30.
Průměrná pevnost v tlaku m_x	[MPa]	40,08	40,2	40,4	40,46	40,46	41,12	41,01	41,3	41,09	41,34	41,4	41,39	41,54	42,48
Směrodatná odchylka s_n	-	5,31	5,18	5,11	4,98	4,88	5,41	5,32	5,4	5,39	5,43	5,34	5,24	5,21	5,22
Variační koeficient V_x	-	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12
Součinitel 5% kvantilu charakteristické hodnoty k_n	-	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
Charakteristická pevnost v tlaku dílčích souborů X_k	[MPa]	30,74	31,09	31,41	31,7	31,87	31,59	31,65	31,8	31,76	31,94	32,17	32,33	32,54	33,44
Charakteristická pevnost v tlaku srovnávacího souboru X_{30}	[MPa]	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44
Rozdíl charakteristických pevností v tlaku $X_k - X_{30}$	[%]	8,1	7	6,1	5,2	4,7	5,5	5,3	4,9	5	4,5	3,8	3,3	2,7	0

4.3.3 Vyhodnocení statistického hodnocení dílčích souborů vzorků

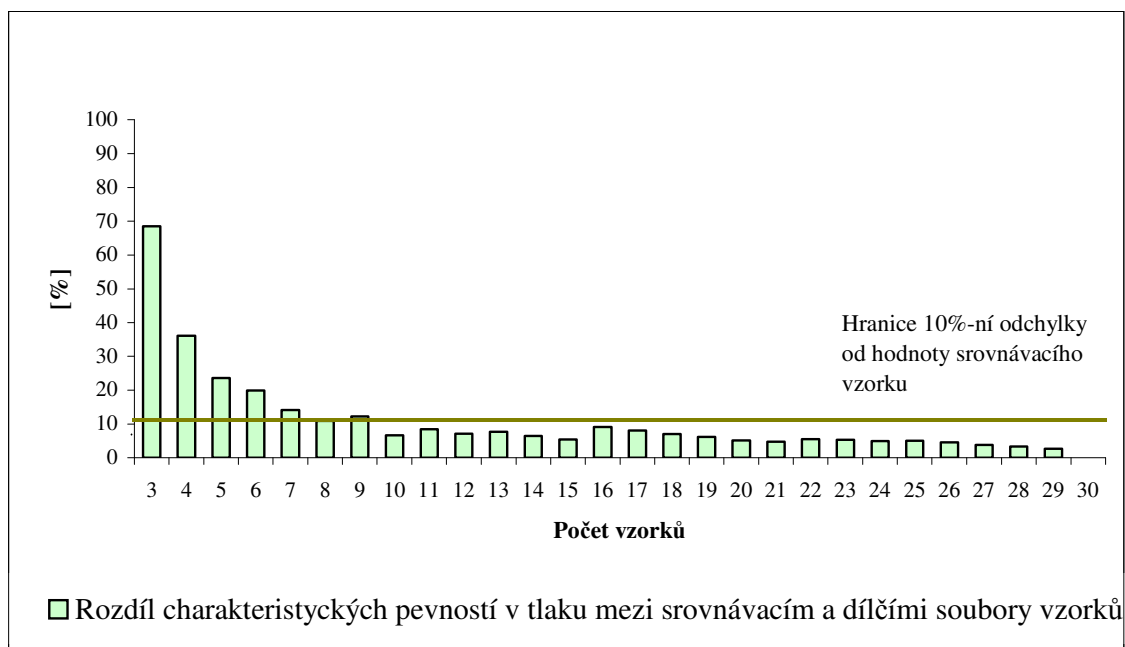
Pro zjištění vlivu množství vzorků na výslednou charakteristickou pevnost v tlaku, byly vypočteny procentuální rozdíly v hodnotách charakteristických pevností betonu v tlaku dílčích souborů ($X_3 - X_{29}$) a hodnoty charakteristické pevnosti betonu v tlaku srovnávacího souboru X_{30} . Následným srovnáním výsledných hodnot bylo zjištěno že množství vzorků obsažených ve statistickém souboru ovlivňuje přesnost vypočtené charakteristické pevnosti. Soubory s počtem vzorků 3 až 9 kusů mají rozdíl v charakteristických pevnostech, vůči srovnávacímu souboru, větší jak 10%. Teprve od počtu ≥ 10 kusů vzorků byl rozdíl v charakteristických pevnostech menší jak 10%. Na základě výsledků statistického hodnocení je doporučený počet vzorků pro určení charakteristické pevnosti v tlaku minimálně 10 kusů.

V grafu č.1 je uveden přehled výsledných charakteristických hodnot pevností v tlaku dílčích souborů. Z grafu je patrný výrazný rozdíl v pevnostech především u souborů s nižším počtem zkušebních vzorků.



Graf 1: Výsledné charakteristické pevnosti betonu v tlaku jednotlivých dílčích souborů vzorků.

V grafu č.2 je znázorněna hraniční přímka zobrazující 10% rozdíl v charakteristických pevnostech v tlaku dílčích souborů a srovnávacího souboru.



Graf 2: Výsledné rozdíly charakteristických pevností betonu v tlaku mezi srovnávacím souborem a dílčími soubory vyjádřený v procentech

4.3.4 Magnetická separace rozptýlené výztuže drátkobetonu

Pro ověření vlivu množství drátkové výztuže na pevnostní charakteristiky betonu, byla provedena magnetická separace drátků. Jednotlivé vzorky byly po destruktivní zkoušce pevnosti v tlaku dále rozpojeny na menší tělesa a následně rozemlety v laboratorním drtiči. Z takto upraveného zkušební vzorku byly pomocí silného magnetu separovány prvky drátkové výztuže. Drátková výztuž byla zvážena a ze zjištěných hodnot bylo vypočteno dávkování drátků v kg/m^3 . Výsledné hodnoty dávkování drátkové výztuže ve vzorcích je uvedeno v tabulce č.8.



Obr.5 Vážení separovaných prvků drátkové výztuže

Tab.8 Zohlednění dávkování drátků v jednotlivých vzorcích

Označení vzorku		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15
Pevnost v tlaku	[MPa]	34,62	36,15	50,72	40,56	40,28	35,89	39,56	41,06	33,81	42,55	43,2	40,23	35,93	41,2	49,87
Dávkování drátků	[kg/m ³]	11,14	25,25	5,62	14,75	17,84	36,21	21,47	25,3	14,24	18,51	21,88	12,12	2,34	3,19	21,22
Průměrné dávkování drátků	[kg/m ³]	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52
Označení vzorku		V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30
Pevnost v tlaku	[MPa]	31,01	44,78	42,12	44,02	41,56	42,83	52,65	38,53	48,14	35,98	47,55	43,11	41,07	45,68	39,76
Dávkování drátků	[kg/m ³]	8,89	16,08	21,1	21,44	14,14	28,19	5,42	17,44	12,77	16,65	20,27	13,14	14,65	20,82	13,42
Průměrné dávkování drátků	[kg/m ³]	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52



Hodnoty dávkování drátků přesahující navrženou hodnotu dávkování 18 kg/m³



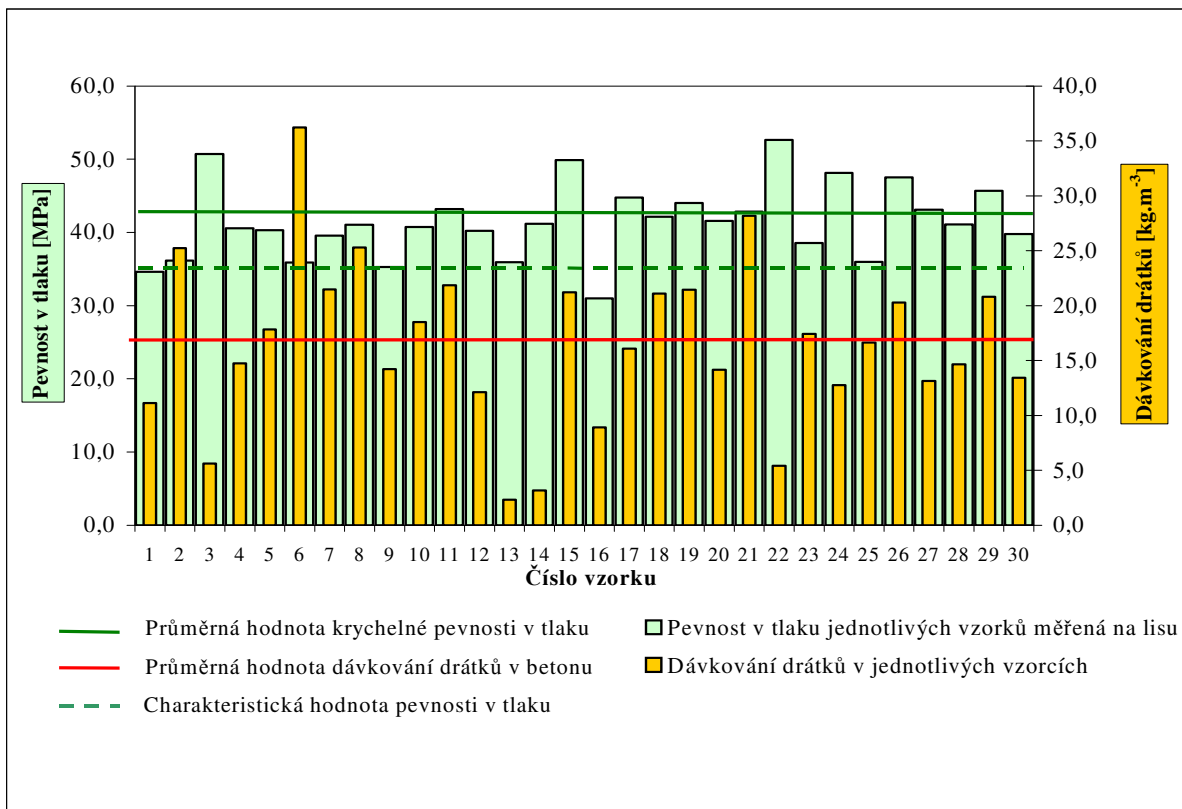
Hodnoty dávkování drátků nepřesahující navrženou hodnotu dávkování 18 kg/m³

4.3.5 Vyhodnocení vlivu dávkování drátkové výztuže na pevnost betonu

Srovnáním tvarových parametrů a změřených drátků se vzorníkem byla provedena identifikace drátkové výztuže. Ve vyšetřované konstrukci byly použity drátky DRAMIX RL 45/50 BN vyráběná firmou BEKAERT.

Navržené dávkování drátků v betonové směsi vyšetřované konstrukce bylo stanoveno na 18 kg/m^3 . Průměrné dávkování drátků v betonu vyšetřované konstrukce bylo stanoveno na $16,52 \text{ kg/m}^3$. Navrhované dávkování splňovalo 40% z celkového množství vzorků. Průměrná hodnota dávkování byla splněna u 50% z celkového množství vzorků. Při porovnání množství drátků ve vzorcích s pevnostmi v tlaku daných vzorku, nebyl zjištěn vliv dávkování drátků.

V grafu č.3 je znázorněno srovnání množství drátků ve vzorcích společně s pevnostmi v tlaku na jednotlivých vzorcích. Z grafu je patrné, že množství drátků ve vzorcích nijak neovlivňuje jejich pevnost v tlaku.



Graf 3: Srovnání pevností v tlaku a množství drátkové výztuže v jednotlivých vzorcích

5. Závěr

V rámci zpracování této bakalářské práce byla řešena problematika diagnostiky betonových konstrukcí. V teoretické části bakalářské práce byly popsány nejčastěji se vyskytující poruchy betonových konstrukcí a popis vybraných diagnostických metod aplikovatelných na betonové konstrukce. Experimentální část byla zaměřena na hodnocení vzorků drátkobetonu odebraných přímo z reálné konstrukce.

Pro experimentální část bakalářské práce bylo k dispozici 30 vzorků jádrových vývrtů odebraných z drátkobetonové vodorovné konstrukce. Povrch konstrukce byl upraven pojezdovou hydroizolační stěrkou, kterou byl drátkobeton dostatečně chráněn proti vlivům vnějšího prostředí. Na odebraných vzorcích byla stanovena pevnost v tlaku, následně byly vzorky rozdrceny v čelistovém drtiči a byla provedena magnetická separace drátků..

- Charakteristická pevnost drátkobetonu v tlaku ze souboru 30 vzorků byla dle ČSN ISO 13 822 stanovena $X_{30} = 33,44$ MPa. Vzhledem k velkému množství zkušebních vzorků bylo možno provést statistické hodnocení dílčích souborů vzorků. Vzorky byly roztrženy do 27 souborů, kdy v prvním hodnoceném souboru byly obsaženy 3 vzorky a v posledním souboru bylo obsaženo 29 vzorků. Vzorky byly v souborech řazeny ve stejném pořadí, v jakém byly odebírány z konstrukce. Při srovnávání charakteristických pevností v tlaku dílčích souborů s hodnotou X_{30} , byly zjištěny rozdíly v pevnostech až 68,5%. Na základě tohoto srovnání je doporučené množství zkušebních vzorků - minimálně 10 kusů.
- Magnetickou separací byly odděleny části drátkové výztuže z rozdrcených vzorků a byla stanovena hodnota dávkování drátků v jednotlivých vzorcích. V celém souboru 30 vzorků bylo provedeno srovnání množství drátků ve vzorku s jeho pevností v tlaku. Ze srovnání bylo zjištěno, že množství drátku ve vzorku neovlivňuje jeho pevnost drátkobetonu v tlaku.

- Průměrné dávkování rozptýlené výztuže v drátkobetonu zjištěné na odebraných vzorcích, bylo stanoveno na $16,52 \text{ kg/m}^3$. Dle statického návrhu mělo být provedeno dávkování 18 kg/m^3 . Hodnotu garantovaného dávkování drátků splňovalo pouze 40 % vzorků. U vyšetřované konstrukce nebylo dodrženo předepsané dávkování drátků. Vzorky byly zkoušeny pouze na ověření pevnost v tlaku, kdy se při takto nízkém dávkování přítomnost drátků neprojeví změnou pevnosti referenčního betonu. Zvýšení by se projevilo teprve při stanovení pevnosti drátkobetonu v tahu za ohybu, nebo při náchylnosti ke vzniku smršťovacích trhlin při tuhnutí směsi.

Doporučení pro stavební praxi:

Pravidelnou a častější kontrolou dávkování drátků v čerstvém betonu, při ukládání betonové směsi, je možné zamezit chybám v dávkování drátků.

Vzhledem k postupnému navyšování výroby drátkobetonu by bylo vhodné provést další statistická hodnocení drátkobetonových konstrukcí a zpracovat technický předpis pro hodnocení drátkobetonových konstrukcí, četnost odebíraných vzorků a výpočet charakteristické pevnosti.

Seznam použité literatury :

- [1] BILČÍK,J.,DOHNÁLEK,J.*Sanace betonových konstrukcí*, Bratislava: JAGA GROUP, 2003, ISBN 80-88905-24-9
- [2] MATOUŠEK.M, DROCHYTKA.R. *Atmosférická koroze betonu*, Praha: IKAS/ČKAIT, 1998. ISBN 80-902558-0-9
- [3] ŽÍDEK,L.: *Diagnostika betonových konstrukcí*, dostupné z - http://www.fast.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fast/6_diagnostika_betonovych_a_zelezobetonovych_konstrukci.pdf
- [4] PYTLÍK.P. *Technologie betonu*, Brno : VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5
- [5] ŽÍDEK,L. *Příčiny vad a poruch dle období jejich vzniku*, dostupné z - http://www.fast.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fast/2_priciny_vad_a_poruch_dle_obdobi_jejich_vzniku.pdf
- [6] ŠTĚPÁNEK,P. *BETONOVÉ KONSTRUKCE – Prvky betonových konstrukcí, navrhované podle mezních stavů*, Brno :CERM,1998. ISBN 80-214-1143-0
- [7] ADÁMEK,J.,NOVOTNÝ,B.,KOUKAL,J. *Stavební materiály*, Brno :CERM,1996. ISBN 80-214-0631-3
- [8] ČSN EN 206-1 Beton. *Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.*(2000)
- [9] DROCHYTKA,R.,DOHNÁLEK,J.,BYDŽOVSKÝ,J. PUMPR,V. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí II.*, Brno :SSBK/ČKAIT,2003. ISBN 80-239-0516-3
- [10] SCHMID,P. *Základy zkušebnictví*, Brno :CERM, 2004. ISBN 80-214-2584-9
- [11] ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- [12] KRÁTKÝ,J.,TRLÍK,K.,VODIČKA,J. *Drátkobetonové konstrukce*, Praha : ČKAIT, 1999. ISBN 80-86364-00-3
- [13] ČSN ISO 13822: *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*
- [14] ČSN 73 1317 – Z2: *Stanovení pevnosti betonu v tlaku*
- [15] VLASÁK,O. *Kontrola množství drátků v betonové směsi na stavbách průmyslových podlah z drátkobetonu. Materiály pro stavbu*, Březen 2009, ISSN 1213-0311.

Seznam obrázků :

Obr.1 Vápenné výkvěty krápníkovitého tvaru

Obr.2 Pokročilé stádium koroze výztuže v důsledku odpadnutí krycí vrstvy, na vodorovném prutu je již zřetelná laminární koroze

Obr.3 Štěrkové hnízdo vzniklé na nároží železobetonové stěny

Obr.4 Povrchové vzduchové póry

Obr.5 Vážení separovaných prvků drátkové výztuže

Seznam tabulek :

Tab.1 Stupeň vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1

Tab.2 Obvyklé dávkování drátků ve vybraných typech konstrukce

Tab.3 Hodnoty převodního součinitele $\chi_{cy,cu}$ při pevnosti betonu zjištěné na válcích základních rozměrů

Tab.4 Přehled pevností v tlaku

Tab.5 Hodnoty součinitele k_n pro diagnostiku neznámé konstrukce

Tab.6 Pevnostní třídy betonu v tlaku

Tab.7 Přehled charakteristických hodnot pevností betonu v tlaku dílčích souborů

Tab.8 Zohlednění dávkování drátků v jednotlivých vzorcích

Seznam grafů :

Graf 1 Výsledné rozdíly charakteristických pevností betonu v tlaku mezi srovnávacím souborem a dílčími soubory vyjádřeny v procentech

Graf 2 Výsledné rozdíly charakteristických pevností betonu v tlaku mezi srovnávacím souborem a dílčími soubory vyjádřeny v procentech

Graf 3 Srovnání pevností v tlaku a množství drátkové výztuže v jednotlivých vzorcích

Seznam příloh :

Příloha č.1 Technický list drátkové výztuže Dramix RL 45/50 BN